FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

1970

THÈSE

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(Diplôme d'État)

PAR

BONNIN André, Albert

Né le 8 juin 1937 à FONTENAY-LE-COMTE (85)

Interne des Hôpitaux de Paris

Présentée et soutenue publiquement le 1970

MESURE DES VOLUMES PULMONAIRES A PARTIR DES RADIOGRAPHIES THORACIQUES

Comparaison aux méthodes spirographiques et de dilution d'hélium chez les sujets normaux et les sujets pathologiques

---

Président : M. G. LEDOUX-LEBARD, Professeur

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41523705_0097

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

THÈSE

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(Diplôme d'État)

PAR

BONNIN André, Albert

Né le 8 juin 1937 à FONTENAY-LE-COMTE (85)

Interne des Hôpitaux de Paris

Présentée et soutenue publiquement le 19

MESURE DES VOLUMES PULMONAIRES A PARTIR DES RADIOGRAPHIES THORACIQUES

Comparaison aux méthodes spirographiques et de dilution d'hélium chez les sujets normaux et les sujets pathologiques

---

Président : M. G. LEDOUX-LEBARD, Professeur

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

A mes parents

A ma femme

A ma fille

A notre Maître, et Président de thèse,

Monsieur le Professeur G. LEDOUX-LEBARD
Professeur d'Électro-Radiologie Médicale,
Électro-Radiologiste du C.H.U. Cochin,

Votre enseignement, clair et nuancé et votre art du radiodiagnostic sont pour nous un modèle;

Vos conseils et votre bienveillance ont toujours été pour nous un grand réconfort;

En témoignage de notre grande reconnaissance et de notre profond attachement.

A notre Maître

Monsieur le Professeur J. LEFEBVRE
Professeur d'Électro-Radiologie Médicale
Électro-Radiologiste du C.H.U. Necker-Enfants-Malades

Qui m'a fait l'honneur de m'accueillir dans son service,

Qu'il veuille bien trouver ici le témoignage de mon respectueux dévouement.

A Monsieur le Professeur Agrégé LIOT,

dont la collaboration à ce travail fut primordiale, puisqu'il m'a suggéré ce Mémoire et m'a aidé dans sa réalisation et sa rédaction par ses conseils avisés.

Qu'il trouve ici l'expression de toute ma gratitude pour la bienveillance dont il a toujours fait preuve à mon égard.

A Monsieur le Professeur Agrégé H. NAHUM
Électro-Radiologiste des Hôpitaux de Paris

A qui je dois tant,
Qu'il trouve ici un modeste témoignage
de ma reconnaissance et de mon fidèle
attachement.

A Monsieur le Professeur Agrégé G. PALLARDY,
Électro-Radiologiste des Hôpitaux de Paris,

Qui a su encourager ma vocation radiologique
et me guider avec une grande bienveillance ;

Dont les qualités humaines m'ont profondément
marqué ;

En témoignage de mon sincère attachement.

A Messieurs les Docteurs :

- H. BISMUTH

  G. DEBRUN

  Professeurs agrégés, Électro-radiologistes des Hôpitaux de Paris

A Madame le docteur

- M. LABRUNE

  Professeur agrégée, Électroradiologiste des Hôpitaux de Paris

A mes conférenciers d'externat et d'internat :

- MM. les Docteurs : PH. MEYER
  R. PARIENTE
  A. DARCY
  F. ISELIN

A tous mes collègues d'internat et tout particulièrement :

- F. ESCHWEGE
- J. P. MONNIER
- S. GERMA
- M. BORDE

A mes Maîtres dans les hôpitaux

EXTERNAT :

- 1960 : Docteur A. BOURGUIGNON
  Professeur J. VARANGOT
- 1961 : Professeur M. DEPARIS
  Professeur M. PERRAULT
- 1962 : Professeur L. JUSTIN-BESANÇON
  Docteur R. BOURDON
- 1963 : Professeur CH. DEBRAY
- 1964 : Professeur R. FAUVERT

INTERNAT

- 1966 : Docteur G. LEBOUCHARD
- 1967 : Professeur G. LEDOUX-LEBARD
- 1968 : Professeur M. COMTE
- 1969 : Professeur J. LEFEBVRE
- 1970 : Professeur M. CACHIN

INTRODUCTION

GÉNÉRALITÉS - TECHNIQUE

Des méthodes anthropométriques de détermination des volumes pulmonaires ont été proposées, voici près d'un siècle. Elles reposaient sur des mensurations externes du thorax et étaient très imprécises. Les mesures faites à partir des radiographies ont amélioré ces méthodes.

Il semble que de telles mesures aient été faites pour la première fois en 1933, par HURTADO et FRAY. Ces auteurs mesuraient par planimétrie la surface thoracique frontale sur un cliché du thorax de face. La mesure au compas du diamètre antéro-postérieur, sur le sujet, donnait l'épaisseur (Fig. 1). Un coefficient de correction empirique permettait d'obtenir la capacité intra-thoracique totale. Ce coefficient, qui était de 0,64 pour HURTADO, a été recalculé par d'autres auteurs et variait de 0,5 à 0,9. Ces variations suffisent à expliquer qu'une telle méthode ne se soit pas généralisée.

En 1956, KOVACH utilise également le cliché thoracique de face et assimile le volume thoracique à un paraboloïde de révolution (Fig. 2). Il obtient le volume pulmonaire total en retranchant à ce paraboloïde le dôme pleural diaphragmatique, les volumes cardiaque et médiastinal.

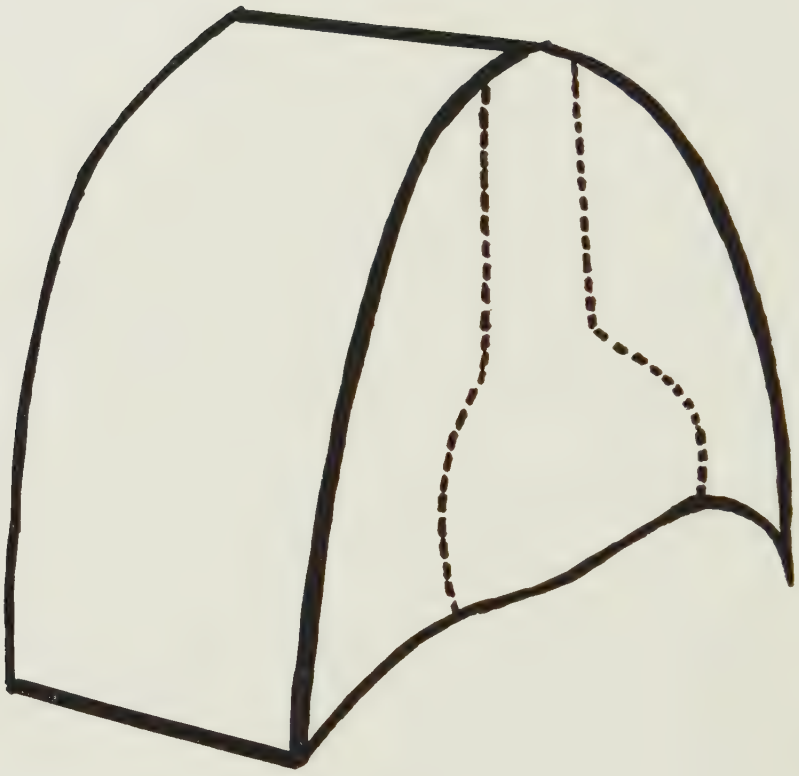


FIGURE N° 1

REPRÉSENTATION DU VOLUME THORACIQUE MESURÉ PAR LA MÉTHODE PLANIMÉTRIQUE DE HURTADO ET FRAY

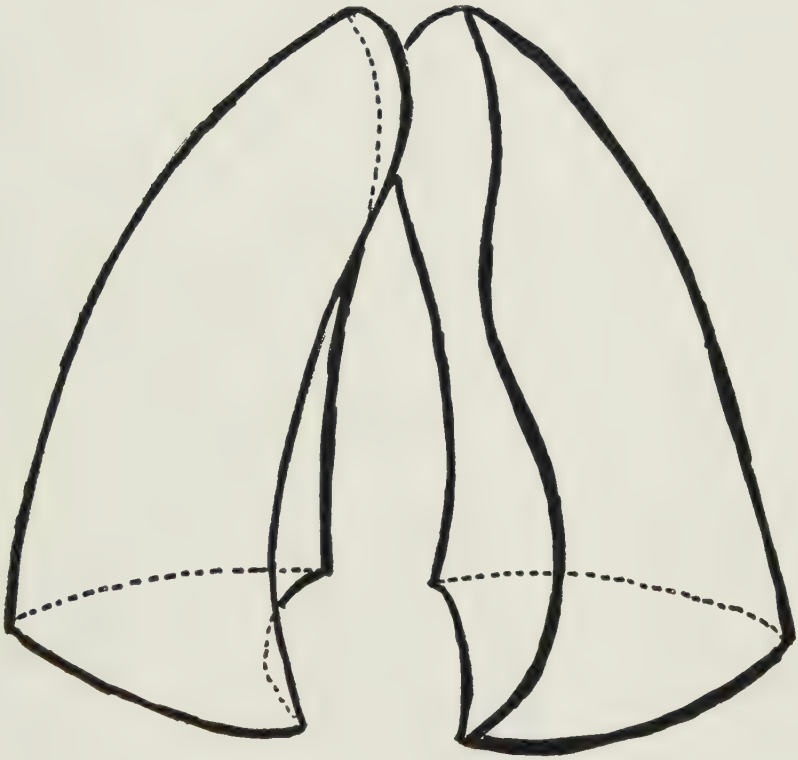


FIGURE N° 2

REPRÉSENTATION DU VOLUME THORACIQUE MESURÉ

PAR LA MÉTHODE PARABOLIQUE DE KOVACH

En 1960, BARNHARD a comparé les résultats obtenus par une telle méthode chez 20 sujets normaux aux mesures faites à partir de la dilution d'hélium : il a trouvé des résultats médiocres. Aussi a-t-il imaginé une nouvelle méthode à partir des clichés thoraciques de face et de profil. Il divise le thorax en cylindres elliptiques superposés (Fig. 3). La section transversale horizontale du thorax montre que chaque poumon a une section elliptique; la plus grande dimension de ces ellipses est frontale, la plus petite est antéro-postérieure.

FIGURE N° 3

SÉRIE DE CYLINDRES ELLIPTIQUES

(Méthode radiologique de BARNHARD)

Si le thorax est divisé en un nombre infini de cylindres transversaux elliptiques d'épaisseur très petite, le volume thoracique est obtenu en intégrant. Pour obtenir le volume de gaz intra-pulmonaire il faut soustraire tout ce qui n'est pas gazeux au volume thoracique total.

Pratiquement, cet auteur décompose le volume intra-thoracique en un nombre limité de tranches et chaque volume élémentaire est assimilé à un cylindre droit de base elliptique.

Les résultats obtenus par BARNHARD chez 21 adultes jeunes, bien portants et 25 sujets âgés bien portants, sont satisfaisants : il trouve une bonne corrélation ($r = 0,88$) entre les chiffres obtenus par une détermination radiologique et ceux obtenus par dilution d'hélium.

M. LOYD, S. STRING et B. DU BOIS reprennent la méthode de BARNHARD et la modifient. Ils dressent un nouveau tableau des valeurs du volume du tissu pulmonaire et du volume sanguin en fonction de la taille et du poids.

Ils comparent les valeurs de la capacité pulmonaire totale mesurée chez 50 sujets :

— par la méthode de BARNHARD,
— par la méthode de BARNHARD modifiée,
— par la méthode pléthysmographique.

Les résultats sont très concordants entre les mesures radiographiques dérivées de BARNHARD et celles obtenues par pléthysmographie $r = 0,96$.

NICKLAUS et ses collaborateurs obtiennent des résultats comparables chez les sujets normaux lorsqu'ils déterminent la capacité pulmonaire totale par méthode radiologique et par pléthysmographie. — De même chez les emphysémateux ces auteurs ont constaté que la capacité pulmonaire totale mesurée radiologiquement était équivalente à celle mesurée par pléthysmographie. Par contre, les résultats sont significativement différents de ceux donnés par la méthode de dilution d'hélium : ces derniers sont inférieurs. — Dès 1962 TIERNEY et NADEL avaient constaté des différences entre les valeurs obtenues par dilution d'hélium et par pléthysmographie; ils avaient observé des différences en cas de dilution d'hélium brève alors que les 2 méthodes devenaient concordantes lorsque l'on prolongeait la courbe de dilution d'hélium. A la 7^{e} minute, temps d'arrêt habituel de la méthode de dilution, l'équilibre n'a pas eu le temps de s'établir chez l'emphysémateux celui-ci présente en effet une distension permanente avec destruction de tous ou partie des espaces aériens distaux au-delà des bronchioles terminales.

Dans certaines zones, le renouvellement du gaz alvéolaire est très lent et l'état d'équilibre ne peut être atteint que vers la 20^{e} minute ou au-delà.

En France, EVEN, DUROUX, FERRANE, BIGNON et LECONTE ont repris en 1968 les travaux de BARNHARD et LOYD; ils ont constaté que les capacités pulmonaires totales mesurées radiologiquement et par dilution d'hélium donnaient des résultats concordants chez des sujets normaux et les Insuffisants respiratoires sans distension (Fibrose, dilatation des bronches).

Au contraire au cours de l'emphysème, la méthode radiologique, donne 1 valeur plus élevée = la différence dépassant un litre en moyenne.

Avant d'aborder les résultats de nos travaux, il nous faut rappeler la méthode de calcul des volumes pulmonaires selon BARNHARD :

1. la technique de prise des clichés,

2. la méthode de calcul proprement dite.

Prise des clichés :

Chez tous les sujets ont été faits des clichés en inspiration forcée en position de face et de profil. Le volume contenu dans leur thorax correspond alors à la capacité pulmonaire totale (Fig. 4).

Chez 45 sujets ont été pratiqués des clichés après expiration d'un certain volume d'air :

— soit leur capacité vitale; les clichés ont été pris en expiration forcée et le volume contenu dans leur thorax correspond alors au volume résiduel (23 cas);

— soit une partie de la capacité vitale (22 cas). Chez tous ces sujets, les clichés ont été pris avec contrôle spirographique simultané, dont on verra la technique dans le chapitre I.

Ces radiographies ont toutes été pratiquées avec le même appareil et dans les mêmes conditions.

DE FACE

— l'ampoule est placée à 1,80 m de la cassette,

— le temps de pose est court : 0,06 seconde,

— la tension est de 130 kilovolts,

— une grille anti-diffusante fixe est interposée.

La position du sujet est toujours identique : il est assis en dos plaqué, tête et dos appuyés sur la table verticale, les coudes écartés, les mains posées sur les cuisses.

Le centrage se fait à l'intersection, à 90°, des deux rayons du centreur lumineux du tube :

— le premier, horizontal, passe par les pointes des omoplates,

— le deuxième, vertical, passe par le milieu du sternum.

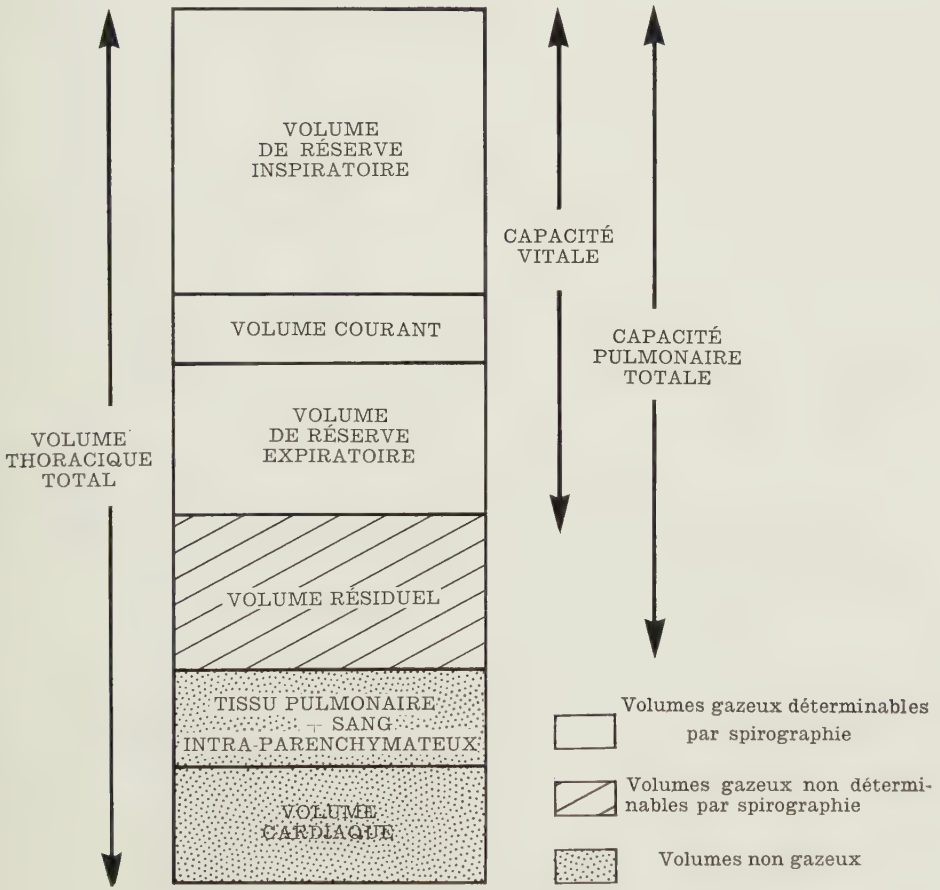
DE PROFIL

— l'ampoule est à 1,80 m de la plaque,

— les clichés sont faits en haute tension : 1,50 kilovolts,

— le temps de pose est court : 0,08 seconde avec grille.

Le sujet est assis, tête et tronc sont verticaux, les bras relevés, les mains croisées derrière la tête. On centre verticalement sur la ligne axillaire, horizontalement au niveau de la pointe de l'omoplate.



ÉLÉMENTS CONSTITUANT LE VOLUME THORACIQUE TOTAL

FIGURE N° 4

MÉTHODE DE CALCUL

Calcul des volumes pulmonaires à partir des radiographies :

Le volume pulmonaire à un niveau donné se calcule selon la méthode de BARNHARD modifiée par LOYD sur deux clichés : l'un de face, l'autre de profil.

Bases théoriques :

Nous rappelons brièvement les bases théoriques sur lesquelles repose le calcul effectué :

— Nous avons vu que BARNHARD divise le thorax en cinq segments transversaux et admet que les cinq volumes déterminés (I à V) sont des cylindres elliptiques.

— la surface d'une ellipse est :

$$1/4 \times D_{AP} \times D_T \quad (1)$$

D_{AP} = diamètre antéro-postérieur
D_T = diamètre frontal.

— Les poumons droit et gauche sont désignés par les lettres d et g. La surface pulmonaire totale d'une section horizontale est :

$$(1/4\ \pi\ D_{APd} \times D_{Td}) + 1/4\ \pi\ (D_{APg} + D_{Tg})$$

Comme $D_{APd} = D_{APg} = D_{AP}$: diamètre antéro-postérieur du thorax, il est clair que la somme des deux surfaces est simplifiée et devient :

$$1/4\ \pi\ D_{AP}\ (D_{Td} + D_{Tg})$$

Comme $D_{Td} + D_{Tg} = D_{TT}$ = diamètre frontal total du thorax, la somme des deux surfaces devient :

$$1/4\ \pi\ D_{AP} \times D_{TT}\ (2)$$

De plus, le volume d'un cylindre elliptique est égal à la surface de l'ellipse multipliée par sa hauteur :

— On calcule facilement les 5 volumes (I àV). De leur somme qui est le volume intra-thoracique, il faut soustraire le volume du cœur, des coupoles diaphragmatiques et du sang intra-parenchymateux.

— Le cœur est assimilé à un volume ellipsoïde de formule
$4/3\ \pi\ r1\ r2\ r3$ (3)
r = rayon

$$\text{ou } 4/3\ \pi\ \frac{d1}{2}\ \frac{d2}{2}\ \frac{d3}{2} = 1/6\ \pi\ d1\ d2\ d3\ (4) \quad d = \text{diamètre}$$

— Le volume des coupoles est plus difficile à calculer. Le 1/4 d'un volume ellipsoïde donne une approximation suffisante pour chaque coupole. La surface courbe correspond au diaphragme, les trois surfaces planes sont respectivement antéro-postérieure, inférieure et médiane.

— Ce volume, à partir de la formule (4) est donc :

$$\frac{4/3\ \pi\ R_1\ R_2\ R_3}{8} = 1/6\ \pi\ R_1\ R_2\ R_3 \qquad (5)$$

soit $1/6\ \pi\ R_{1d} \times R_{2d} \times R_{3dg}$ pour l'hémi-coupole droite,
et $1/6\ \pi\ R_{1g} \times R_{2g} \times R_{3dg}$ pour l'hémi-coupole gauche.

A / DÉTERMINATION DES DIVERS VOLUMES ÉLÉMENTAIRES

1. Les 4 premiers segments : (Fig. 5, Fig. 6)

DE FACE :

On dessine les limites du thorax en suivant le **bord interne** des côtes :

— deux horizontales sont tirées à 2,75 cm et 5,50 cm du sommet, créant deux segments supérieurs I et II, de même hauteur;

— ces horizontales sont perpendiculaires à une verticale passant par les apophyses épineuses;

— une troisième horizontale est tracée tangentiellement à la plus haute des deux coupoles diaphragmatiques. La hauteur séparant le segment II de cette troisième horizontale est divisée en deux parties égales par une quatrième ligne horizontale, créant ainsi les segments III et IV.

SUR LE PROFIL :

On dessine les limites internes de la cage thoracique en suivant le bord postérieur du sternum et en arrière la partie la plus postérieure des arcs costaux (si le profil n'est pas strict, on trace la limite postérieure à mi-chemin entre les deux lignes dessinées par les arcs costaux postérieurs droits et gauches).

Pour déterminer le sommet des poumons, toujours masqué par l'épaule, on trace, à partir de l'horizontale tangente au sommet de l'hémidiaphragme le plus haut, une verticale dont la hauteur H_P est égale à la hauteur H_F coupole diaphragmatique-apex déjà calculée sur la face.

On divise le profil en quatre segments, comme cela a été fait sur la face.

2. Le segment V :

SUR LE PROFIL :

Les culs-de-sac pleuraux postérieurs sont dessinés : l'on trace l'horizontale passant à mi-hauteur de ces deux culs-de-sac. Une

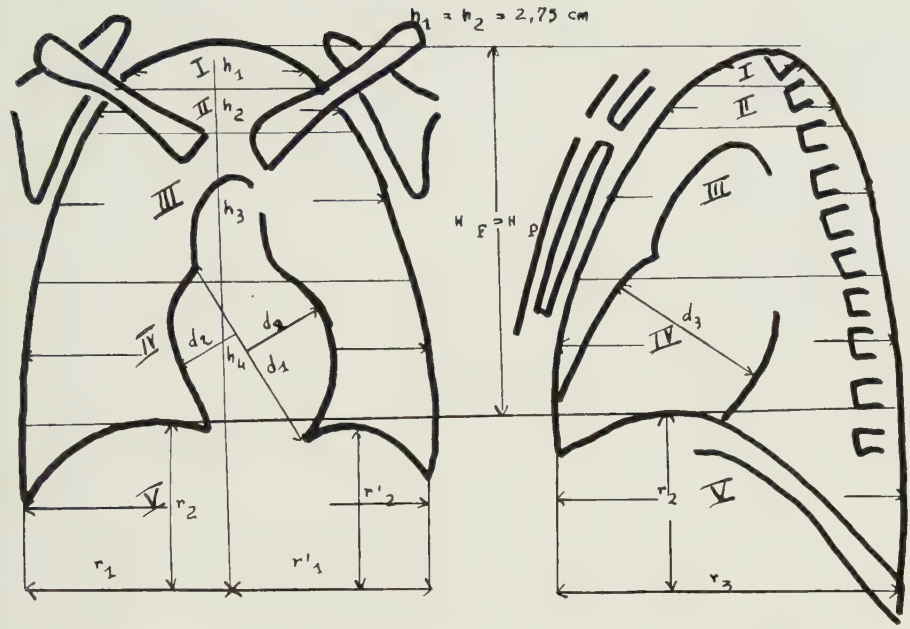


SCHÉMA DES RADIOGRAPHIES DU THORAX FACE-PROFIL AVEC LES DROITES TRACÉES ET MESURÉES

FIGURE N° 5

FIGURE N° 6

verticale est abaissée, prolongeant vers le bas la face postérieure du sternum A' E'. La hauteur verticale r2 qui sépare la coupole la plus haute de l'horizontale passant par la mi-hauteur des deux culs-de-sac est mesurée :

— r3 est la profondeur de profil (segment horizontal compris entre A' E' et les deux culs-de-sac).

SUR LA FACE

— r2 est reportée sur la face et donne la limite inférieure horizontale du thorax de face;

— r'2 est la distance de l'autre hémi-coupole à cette limite inférieure.

— Cette limite inférieure horizontale coupe les prolongements des bords internes des arcs costaux droits et gauches, en F et F', et l'axe vertical du thorax en G.

FG = r1

F'G = r'1

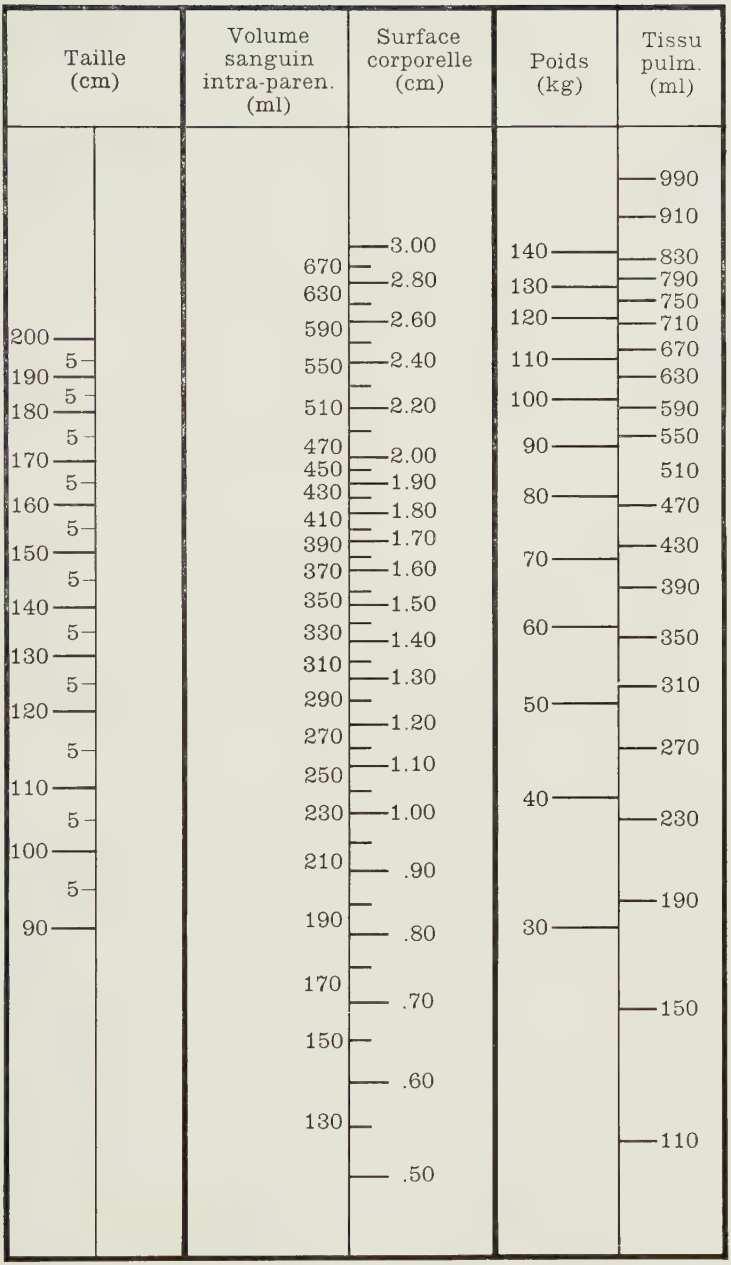
3. **Les volumes à soustraire :**

— **Les hémi-coupoles diaphragmatiques** : le volume occupé par chaque hémicoupole diaphragmatique se calcule en multipliant la largeur r1 ou r'1 et la hauteur r2 ou r'2 mesurés sur la face et la profondeur r3 sur le profil (cf formule 5).

— **Le cœur** : on mesure :

- la longueur d_1 = distance qui joint l'origine de la veine-cave supérieure à l'apex;
- le diamètre transversal d_2 perpendiculaire à d_1 de face;
- le 3e diamètre d_3. Il correspond à la plus grande distance des deux bords cardiaques antérieur et postérieur sur le cliché de profil perpendiculaire au grand diamètre oblique.

— **Tissu pulmonaire et sang intra-thoracique** extra-cardiaque sont donnés par des abaques (Fig. 7).



Abaque pour le calcul des volumes sanguins et tissulaire pulmonaire d'après LOYD.

EXEMPLE : 170 cm — Tissu pulmonaire : 415 ml
70 kg — Volume sanguin intra-parenchymateux : 420 ml

FIGURE N° 7

B / **CALCUL DES VOLUMES PULMONAIRES** (Tableaux I et II).

1. **Volume total de la cage thoracique :**

Il est égal à la somme des volumes des segments I, II, III, IV, V, multipliée par un facteur de correction de 0,572. Ce facteur transforme ces volumes parallélépipédiques en cylindres elliptiques. Le facteur 0,572 est le produit de $\frac{\pi}{4}$ (0,79), utilisé pour le calcul du volume d'une section d'ellipse par le facteur de réduction volumétrique lié à l'agrandissement (1 — 0,27 = 0,73).

2. **Volumes à soustraire :**

Le volume d'air contenu dans les poumons au moment de la prise des clichés est égal au volume total de la cage thoracique diminué de tout ce qui n'est pas gazeux. Les volumes à soustraire comportent :

— la somme des volumes de l'hémi-diaphragme droit, de l'hémi-diaphragme gauche et du volume cardiaque, multipliée par 0,381, facteur de correction ($0{,}381 = \pi/6 \times 0{,}73$).

— le tissu pulmonaire et le sang intra-parenchymateux : l'ensemble de ces valeurs est soustrait du volume de la cage thoracique (I à V). L'on obtient ainsi le volume du gaz intra-pulmonaire.

TABLEAU N° 1

DÉTERMINATION RADIOLOGIQUE DES VOLUMES PULMONAIRES

Nom et prénom : DEN . . . Th. Sujet n° 20 Date : 3-10-1968
Age : 22 ans Poids : 78 kg Taille : 1,78 m

Clichés pris en inspiration forcée avec contrôle spirographique

Volume thoracique total :

Segment	Largeur face cm	Profondeur profil cm	Hauteur cm	Produit en ml
I	16,9	7	2,75	325
II	23,2	13,4	2,75	854
III	27,3	18,6	8,8	4 461
IV	30,7	22	8,8	5 900
V	32	21	10	6 720

Somme des segments : 18 260 ml
× (facteur de correction : 0,572
10 444 ml

VOLUME THORACIQUE TOTAL : 10,4 l

Volumes à soustraire :

Hémi-diaphragme	Largeur face	Profondeur profil	Hauteur	Produit
droit	16	19	10	1 040 ml
gauche	16,1	19	8,8	2 691 ml
cœur	D1 face 17,2	D2 face 11,8	D3 prof. 10	2 029 ml

10,4
— 3,8 l

CAPACITÉ PULMONAIRE TOTALE RADIOLOGIQUE 6,60 l

CAPACITÉ PULMONAIRE TOTALE SPIROGRAPHIQUE 6,59 l

DIFFÉRENCE 0,01 l

7 760 ml

× facteur de correction 0,381

2 956
tissu pulmonaire 470
volume sanguin 410
3 836 ml

SOMME DES VOLUMES A SOUSTRAIRE : 3,8 l

DÉTERMINATION RADIOLOGIQUE DES VOLUMES PULMONAIRES

TABLEAU II

Clichés pris après expiration d'un volume donné contrôlé par spirographie (niveau respiratoire B).

Volume thoracique total :

Segment	Largeur face	Profondeur profil	Hauteur cm	Produit ml
I	14	4,6	2,75	177
II	19,4	9,5	2,75	506
III	24,9	15,2	6,9	2 608
IV	28,5	18	6,9	3 539
V	29,7	21	7,5	4 677

Somme des segments : 11 507
× coefficient de correction : 0,572
6 582

VOLUME THORACIQUE TOTAL : 6,58 l

Volumes à soustraire :

Hémi-diaphragme	Largeur face	Profondeur profil	Hauteur	Produit
droit	15	18	7,5	2 025 ml
gauche	14,6	18	6	1 576 ml
cœur	D1 face 16,3	D2 face 10,7	D3 prof. 8,7	1 517 ml

	5 118 ml
× coefficient de correction :	0,381
	1 955
tissu pulmonaire	470
volume sanguin	410
	2 835 ml

Le volume expiré radiologique est égal à :

— capacité pulmonaire totale en inspiration forcée diminuée de la

— capacité pulmonaire totale au niveau B

= 6,601 — 3,74 l = **2,86 l**

Le volume expiré mesuré directement par spirographie est de **3,06 l**

DIFFÉRENCE : 0,2 l

SOMME DES VOLUMES A SOUSTRAIRE : 2,83 l

CAPACITÉ PULMONAIRE RADIOLOGIQUE : 3,75 l

PLAN DE NOTRE ÉTUDE

Il nous a semblé intéressant de faire une étude radiologique des volumes pulmonaires selon la méthode de BARNHARD modifiée par LOYD.

Grâce à la collaboration du Service Central d'Électro-Radiologie de Cochin et du Laboratoire Central d'Explorations Fonctionnelles, il nous a été possible de jumeler étroitement les techniques radiologiques et spirographiques.

Nos travaux se sont orientés dans 3 directions :

1° S'assurer de la validité de la méthode Radiologique, cette validité repose sur l'identité d'un volume de gaz calculé à partir des radiographies, et de ce même volume de gaz déterminé par une méthode physique. La méthode la plus précise de calcul des volumes respiratoires est la méthode spirographique mais elle n'est applicable qu'au volume mobilisable. Nous avons pensé, que si la méthode radiologique de BARNHARD était valide, la différence des volumes, calculée sur des clichés radiographiques pris à 2 positions respiratoires données, serait égale au volume de gaz expiré pendant le même temps dans un spirographe. Cela nécessitait la prise de clichés, le malade étant branché sur un spirographe.

Ce sont les résultats d'une telle étude, faite chez des sujets normaux et des sujets pathologiques, que nous exposerons dans la première partie, et les discussions qui en découlent.

2° La deuxième partie de ce travail compare la capacité pulmonaire totale mesurée par la méthode de BARNHARD à celle obtenue par la méthode conventionnelle spirographie et dilution d'hélium chez des sujets normaux, des sujets pathologiques non emphysémateux et chez des sujets pathologiques emphysémateux

Chez les sujets emphysémateux, nous avons évoqué les difficultés de la méthode radiologique lors de la prise des clichés à un niveau respiratoire extrême et lors du calcul des différentes dimensions thoraciques.

3° Dans la troisième partie de notre étude :

a) Nous comparons rapidement les résultats donnés par la méthode de BARNHARD et ceux obtenus par des méthodes de calcul plus rapides du volume thoracique total à partir de 3 dimensions et même de 2 dimensions.

b) Nous essaierons de voir quel peut être l'apport concret de la méthode de déterminations radiographiques des volumes pulmonaires à l'exploration fonctionnelle respiratoire.

N.B. Tous nos calculs statistiques ont été effectués selon les normes habituelles (*) :

— coefficient de relation r

— méthode des couples.

(*) Nous remercions madame G. Lemaigre qui a bien voulu effectuer les calculs nécessaires à ce travail.

CHAPITRE I

Comparaison d'un volume d'air expiré dans un spirographe au même volume déterminé radiologiquement.

Discussion de la validité de la méthode de BARNHARD.

Estimant que la méthode spirographique est la plus précise pour déterminer des valeurs de gaz mobilisables, nous avons décidé de comparer un volume pulmonaire avec le même volume déterminé directement par spirographie. Pour ce faire, nous avons pris des clichés successivement en inspiration forcée, puis après expiration d'un certain volume de gaz, le sujet étant relié à un spirographe (fig. n° 8).

On peut calculer le volume expiré en soustrayant du volume radiologique initial mesuré en inspiration forcée, le volume radiologique mesuré sur les clichés en expiration.

Nous comparons ainsi un volume radiologique avec un volume identique mesuré par spirographie. Nous avons effectué ces calculs chez :

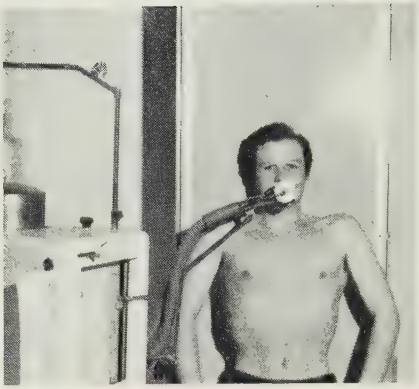
— 21 sujets normaux

— 24 sujets pathologiques emphysémateux.

Il faut détailler le protocole utilisé pour déterminer simultanément la mesure du volume expiré.

Détermination simultanée d'un volume expiré.

Chez 45 sujets, des clichés ont été pris avec contrôle spirographique simultané. Le sujet est relié par l'intermédiaire d'une pièce buccale à un spirographe (fig. n° 8).



INSPIRATION (Face)

EXPIRATION (Face)

INSPIRATION (Profil)

EXPIRATION (Profil)

POSITION DU SUJET

FIGURE N° 8

L'exécution préalable d'une inspiration forcée suivie d'une expiration forcée permet de vérifier que le niveau inspiratoire maximum est bien atteint, lors de la prise des clichés en inspiration forcée.

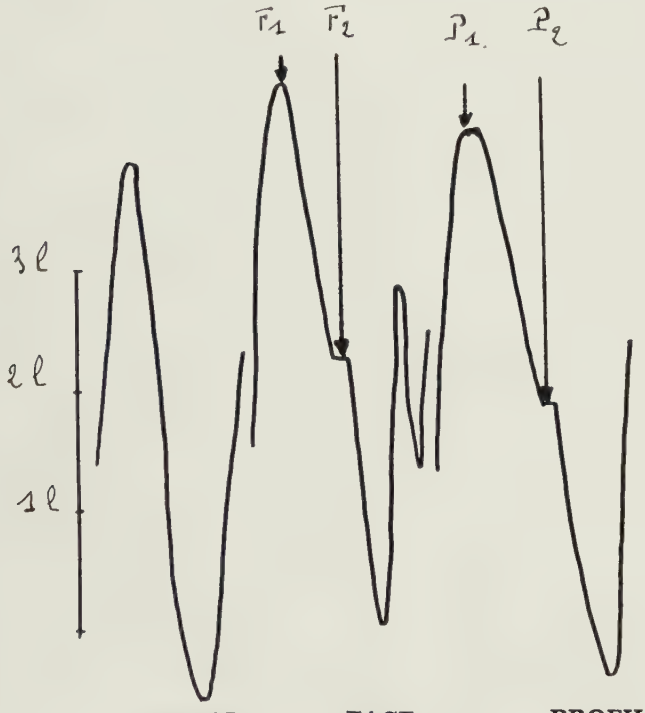
Lorsque des clichés ont été impressionnés à deux niveaux respiratoires ; on veille à ce que la quantité d'air rejeté entre la prise du deuxième et du premier cliché soit identique de face et de profil.

On dispose ainsi chez tous les sujets, de clichés de face et de profil en inspiration forcée et des clichés de face et de profil au niveau maximum moins un volume d'air donné.

Chez les sujets non entraînés, il est plus facile de leur faire expirer leur capacité vitale de façon à les faire arriver au niveau expiratoire maximum que de leur faire arrêter l'expiration à un niveau préalablement établi, c'est pourquoi dans 22 cas, le volume expiré correspond à la capacité vitale.

CALCULS SPIROGRAPHIQUES

Le volume entre deux positions inspiratoires est directement mesuré sur le tracé spirographique (fig. 9, fig. 10).



SUJET N° 2 - MAL..
Age : 20 ans
Taille : 1,75 m
Poids : 65 kg
Température : 22°

FIGURE N° 9

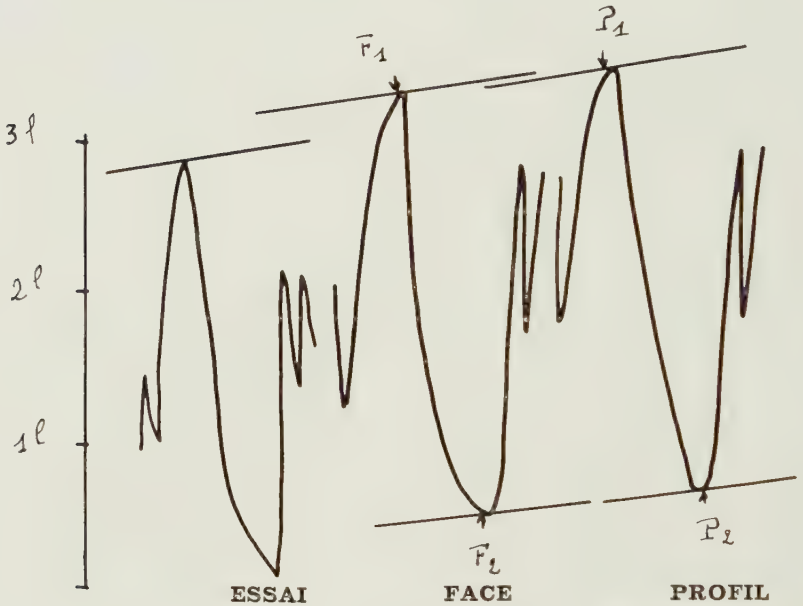
PRISE DE CLICHÉS A DES NIVEAUX RESPIRATOIRES DIFFÉRENTS AVEC SPIROGRAPHIE SIMULTNAÉE

Les volumes sont tous exprimés en B.T.P.S.

1. **ESSAI** : Une capacité vitale est effectuée sans prise de cliché; Capacité vitale = 3,24 l. B.T.P.S.

2. **FACE** : Un premier cliché est pris en F 1; par rapport à l'essai le sujet a bien effectué une inspiration maxima.
Un deuxième cliché est pris en F 2; par rapport à l'essai, le sujet est bien au niveau expiratoire maximum.

3. **PROFIL** : Premier cliché pris en P 1 ; par rapport à l'essai et au cliché de face, le sujet a bien effectué une inspiration maxima.
Deuxième cliché pris en P 2 ; par rapport à l'essai et au cliché de face, le sujet est bien au niveau expiratoire maximum.



Température : 24°

SUJET N° 27 - GIO...

Age : 58 ans
Taille : 1,60 m
Poids : 57 kg

FIGURE N° 10

PRISE DE CLICHÉS A DEUX NIVEAUX RESPIRATOIRES DIFFÉRENTS AVEC SPIROGRAPHIE SIMULTANÉE

1. **ESSAI** : Une capacité vitale est effectuée sans prise de cliché.

2. **FACE** : Un premier cliché est pris en F_1, par rapport à l'essai le sujet a bien effectué une inspiration maxima.
Un deuxième cliché est pris en F_2 ; le sujet a rejeté un volume : V.E. = 3,14 BTPS

3. **PROFIL** : Un premier cliché est pris en P_1 ; par rapport à l'essai et à la face le sujet a bien effectué une inspiration maxima.
Un deuxième cliché est pris en P_2 ; il a rejeté un volume V.E. identique à celui expiré de face.

RÉSULTATS

— Chez 21 sujets normaux (tableau IV) les 2 moyennes des volumes expirés spirographiques et des volumes radiologiques sont :

V. E. spiro : 3,08 $\pm$ 0,32 litres

V. E. radio : 3,01 $\pm$ 0,31 litres

Conclusion :

— les deux méthodes sont étroitement liées r = 0,95

— Les deux méthodes donnent des valeurs non significativement différentes t = 1,67 à 20° de liberté.

SUJETS NORMAUX AVEC CONTROLE SPIROGRAPHIQUE SIMULTANÉ D'UN VOLUME EXPIRÉ DONNÉ

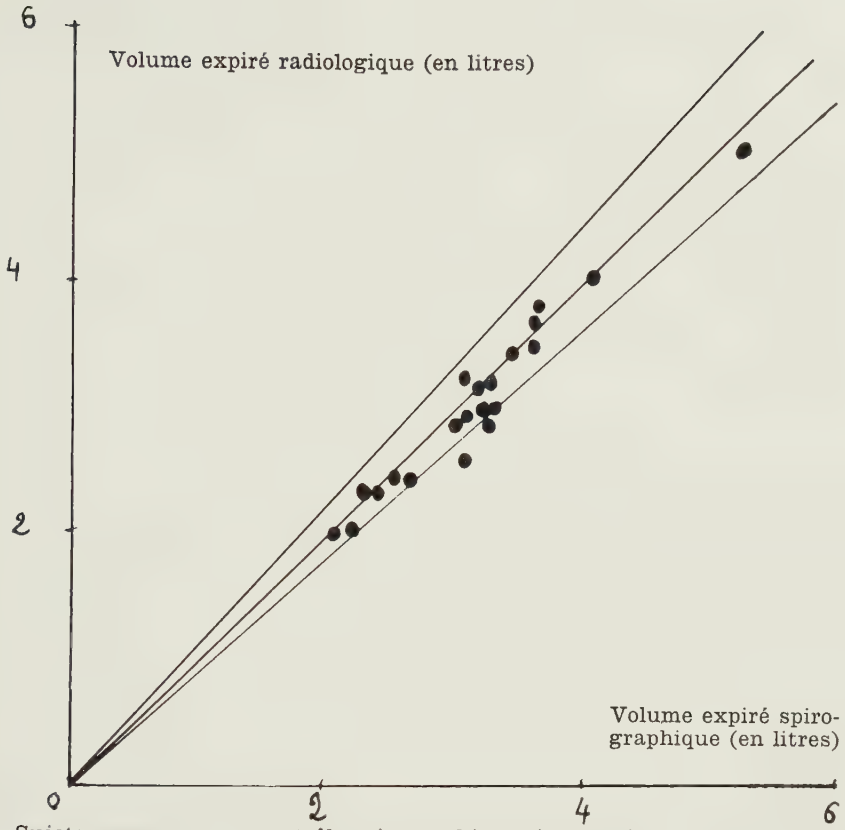
TABLEAU N° IV

	VOLUME EXPIRÉ SPIROGRAPHIQUE (V.E. S) (1)	VOLUME EXPIRÉ RADIOLOGIQUE (V.E. R) (1)
1) GUE...	3,05	3,31
2) MAL...	3,14	3,27
3) BOL...	2,22	2,35
4) ROB...	2,58	2,31
5) MAK...	3,05	2,51
6) LIO...	3,99	4,00
7) BON...	3,27	3,36
8) VER...	2,35	2,41
9) BEN...	2,00	1,96
10) COS...	3,22	3,01
11) LEM...	2,93	3,02
12) FRO...	2,16	2,21
13) CEU...	3,41	3,51
14) CLO...	3,75	3,50
15) BAR...	5,29	5,05
16) MAR...	2,45	2,57
17) FEG...	3,37	2,76
18) DENT..	3,33	3,22
19) MON...	3,34	3,08
20) DENI..	3,06	2,86
21) GIR...	2,96	2,88
MOYENNES:	V.E. Spir. : 3,08 $\pm$ 0,32	V.E. Rad. : 3,09 $\pm$ 0,315

CONCLUSIONS

— Les deux méthodes sont étroitement liées : $r = 0,95$.

— Les deux méthodes donnent des valeurs non significativement différentes : $t = 1,67$ pour 20 d.d.l.



Sujets normaux avec contrôle spirographique simultané d'un volume expiré.

FIGURE N° 11

Chez 24 sujets pathologiques (tableau n° V) les 2 moyennes des volumes expirés spirographiques et des volumes expirés radiologiques sont :

V. E. spiro : 3,03 $\pm$ 0, litres

V. E. radio : 3,08 $\pm$ 0, litres (fig. n° 12)

Conclusion :

— Les deux méthodes sont étroitement liées r = 0,97 pour n = 24.

— Les deux méthodes ne donnent pas des résultats significativement différents. t = 0,90 pour DDL = 23 (méthodes des couples) $\alpha < 0,05$.

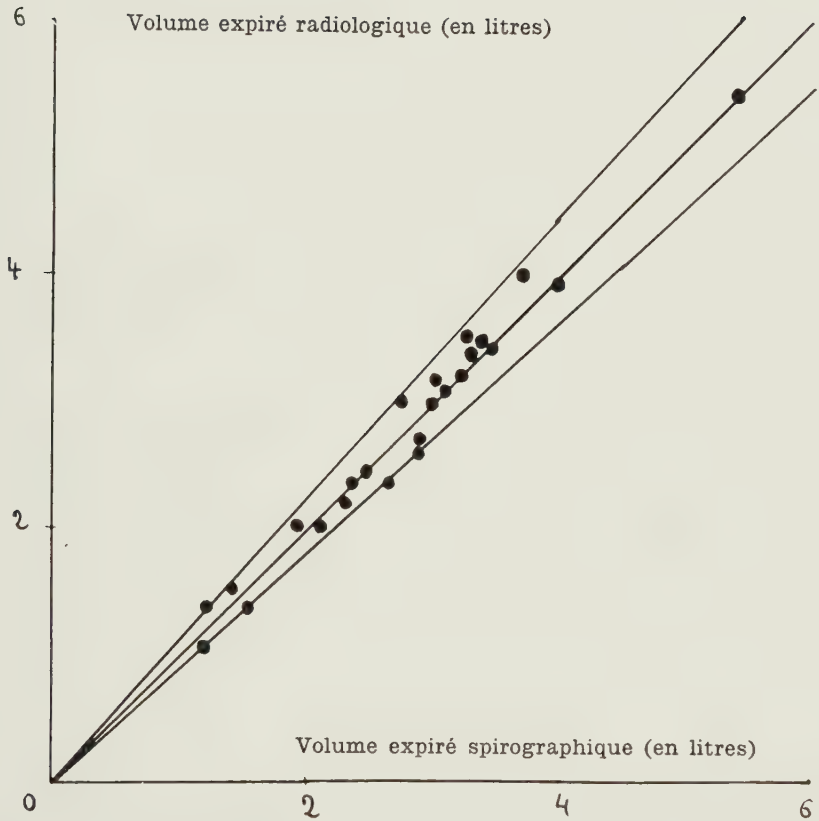
SUJETS PATHOLOGIQUES AVEC CONTROLE SPIROGRAPHIQUE SIMULTANÉ D'UN VOLUME EXPIRÉ DONNÉ

Il existe une étroite corrélation entre ces deux méthodes $r = 0,97$ pour $n = 24$.

On ne peut pas dire qu'il existe une différence entre ces 2 méthodes t 0,90 pour DDL 23 (méthode des couples 0,05)

TABLEAU N° V

	VOLUME EXPIRÉ SPIROGRAPHIQUE	VOLUME EXPIRÉ RADIOLOGIQUE
26) SAC...	3,37	3,24
27) GIO...	3,24	3,37
34) FIN...	2,36	2,29
28) FEL...	2,90	3,35
29) MAR...	1,57	1,67
30) HOU...	2,18	2,05
31) PAT...	3,25	3,53
32) LIE...	3,95	4,07
33) GAI...	3,21	3,17
77) BEN...	3,20	3,60
78) SOL...	3,14	3,12
79) SID...	1,83	2,07
80) COM...	2,58	2,61
81) LEM...	1,60	1,48
82) LEW...	3,60	4,08
83) LON..	2,90	2,60
84) BUS...	5,58	5,59
85) HAU...	2,79	2,93
86) PIA...	1,33	1,47
87) RID...	2,53	2,52
88) PIN...	2,93	3,02
89) BRA...	2,90	2,61
90) ROB...	2,70	2,26
81) FUR...	1,20	1,10
MOYENNES :	3,04 ± 0,38	3,08 ± 0,40



Sujets pathologiques avec contrôle simultané spirographique d'un volume expiré donné

FIGURE N° 12

DISCUSSION DES RÉSULTATS

Pour s'assurer de la validité de la méthode de mesure radiologique des volumes pulmonaires, nous avons imaginé un procédé qui nous permet de comparer un volume de gaz déterminé par mensurations radiographiques à un volume mesuré par une méthode simple et précise : la spirographie. Pour ce faire nous avons recours à l'artifice qui consiste à déterminer un volume rejeté par différence d'un volume mesuré à deux niveaux respiratoires.

Nous pouvons écrire qu'entre deux niveaux respiratoires différents, le volume réellement rejeté est celui déterminé par spirographie : nous l'appellerons $V.E._S$.

Le volume calculé sur les radiographies est égal à la différence entre le volume maximum contenu dans les poumons V_{1R}. et le volume restant après expiration $V._{2R}$. Nous appellerons ce volume ainsi déterminé $V.E._R$; $V.E._R = V._{1R} - V._{2R}$. D'après nos résultats, nous voyons que : $V.E._S = V.E._R$.

Sommes-nous pour autant autorisés à conclure que $V._{1R}$ et $V._{2R}$ correspondent bien aux volumes réellement contenus dans les poumons à ces deux niveaux respiratoires? Autrement dit, les coefficients établis par BARNHARD sur des données mathématiques sont-ils justes?

Si ces coefficients étaient faux, nous aurions, en appelant V_1 et V_2 les volumes réellement contenus dans les poumons :

$$V_1 = V_{1R}$$

$$V_2 = V_{2R}$$

Le même coefficient étant utilisé dans les diverses positions respiratoires, la proportionnalité serait la même dans les deux cas et nous pourrions écrire :

$$V._{1R} = kV_1$$

$$V._{2R} = k_{V2}$$

on aurait alors :

$$V_{1R} - V_{2R} = k\ (V1 - V2)$$

ou :

$$V._{ER} = k\ V.E._S$$

Or, l'étude statistique nous a prouvé que nous n'avons pas de différence systématique, en plus ou en moins, entre V.E.$_S$ volume réel et V.E.$_R$ volume calculé radiologiquement.

Nous pouvons déduire que V_{1R} reflète bien la capacité totale contenue dans le poumon du sujet. Et, à la limite, cela nous permettrait de l'affirmer, même si nous n'avions pas déterminé celle-ci par ailleurs. Nous apportons donc une preuve supplémentaire à la validité de la méthode employée.

CONCLUSION DE LA PREMIÈRE PARTIE

LA COMPARAISON DU MÊME VOLUME EXPIRÉ MESURÉ PAR SPIROGRAPHIE ET PAR LA MÉTHODE RADIOLOGIQUE DE BARNHARD MONTRE UNE CORRÉLATION TRÈS SATISFAISANTE. ON PEUT EN CONCLURE QUE LES COEFFICIENTS ÉTABLIS PAR BARNHARD SONT VALIDES ET QUE LA MÉTHODE RADIOLOGIQUE DONNE UNE MESURE CORRECTE DU VOLUME D'AIR CONTENU DANS LES POUMONS.

CHAPITRE II

Comparaison de la capacité pulmonaire totale déterminée radiologiquement à celle déterminée par la méthode de dilution d'hélium :

chez des sujets normaux
chez des sujets pathologiques non emphysémateux
chez des sujets emphysémateux.

I - **Chez 28 sujets normaux,** la capacité pulmonaire totale a été mesurée par la méthode radiologique et par la méthode conventionnelle spirographique et dilution d'hélium.

21 ont été contrôlés avec spirographie simultanée.

7 n'ont pas eu de contrôle spirographique simultané.

a) Comparaison entre la capacité pulmonaire totale déterminée sur les radiographies et celle obtenue par la méthode de dilution d'hélium des 21 sujets normaux avec contrôle spirographique.

— les moyennes des C.T. spiro et des C.T. radio sont respectivement :

Capacités pulmonaires totales spirographiques (C.T.s.)
C.T.s. = 6,71 $\pm$ 0,58 litres

Capacités pulmonaires totales radiologiques (C.T.r.)
C.T.r. = 6,82 $\pm$ 0,68 litres

Conclusion :

Les deux méthodes sont étroitement liées : r = 0,78.

Les deux méthodes donnent des valeurs non significativement différentes : t = 1,12 pour 20 ddl (fig. n° 13, tableau n° VI).

SUJETS NORMAUX EN INSPIRATION FORCÉE AVEC CONTROLE SPIROGRAPHIQUE SIMULTANÉ

TABLEAU N° VI

	CAPACITÉ PULMONAIRE TOTALE SPIROGRAPHIQUE (C.T. S) (1)	CAPACITÉ PULMONAIRE TOTALE RADIOLOGIQUE (C.T. R) (1)
1) GUE...	6,85	6,79
2) MAL...	7,81	7,69
3) BOL..	5,38	4,81
4) ROB...	4,57	4,20
5) MAK...	7,76	7,53
6) LIO...	9,10	10,01
7) BON...	7,10	7,64
8) VER...	4,95	4,68
9) BEN...	5,54	6,01
10) COS...	6,69	6,75
11) LEM...	5,71	6,15
12) FRO ...	4,85	4,78
13) CEU...	8,69	9,31
14) CLO...	7,01	7,54
15) BAR...	7,83	7,27
16) MAR...	5,69	6,28
17) FEG...	8,49	8,80
18) DENT...	6,50	7,09
19) MON...	6,76	6,05
20) DENI...	6,59	6,60
21) GIR...	7,05	7,31
MOYENNES	$C.T._S : 6,71 \pm 0,58$	$C.T._R : 6,82 \pm 0,68$

CONCLUSIONS :

— Les deux méthodes sont étroitement liées : $r = 0,78$.

— Les deux méthodes donnent des valeurs non significativement différentes : $t = 1,12$ pour 20 d.d.l.

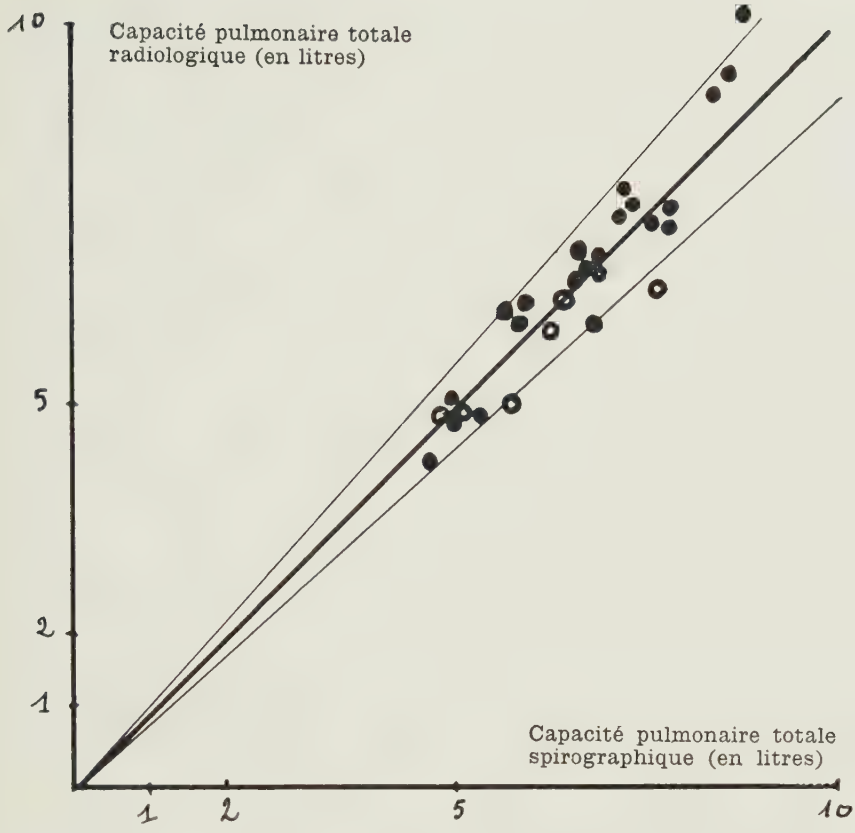


FIGURE N° 13

b) Comparaison entre la capacité pulmonaire totale déterminée par les radiographies et celle obtenue par spirographie chez 7 sujets normaux sans contrôle spirographique (tableau n° VII) et (fig. n° 13).

— les moyennes des C.T.s. et C.T.r. sont respectivement :

C.T.s. = 6,18 ± 0,90 litres

C.T.r. = 5,76 ± 8,83 litres

Conclusion :

Les deux méthodes sont étroitement liées : r = 0,93 pour 5 ddl.

Les deux méthodes ne donnent pas de résultats significativement différents (par la méthode des couples : t = 2,40 pour 6 ddl).

SUJETS NORMAUX SANS CONTROLE SPIROGRAPHIQUE SIMULTANÉ

TABLEAU N° VII

	C.P.T. spiro	C.P.T. radi
69) BAL...	7,52	6,63
70) BEL...	5,69	4,95
71) EUR...	6,59	6,57
72) MOU...	6,10	5,81
73) CHA...	4,81	4,77
74) MAU...	6,86	6,74
75) CHA...	5,01	4,87
MOYENNES	6,18 ± 0,90	5,76 ± 0,83

CONCLUSIONS :

— Les deux méthodes sont étroitement liées : r = 0,93 pour 5 d.d.l.

— Les deux méthodes ne donnent pas des résultats significativement différents (par la méthode des couples : t = 2,40 pour 6 d.d.l.).

SUJETS PATHOLOGIQUES NON EMPHYSÉMATEUX EN INSPIRATION FORCÉE AVEC CONTROLE SPIROGRAPHIQUE

TABLEAU N° VIII

	CAPACITE PULMONAIRE TOTALE SPIROGRAPHIQUE* (en litres)	CAPACITÉ PULMONAIRE TOTALE RADIOLOGIQUE** (en litres)
23) BRU...	5,90	5,58
29) MAR...	3,53	3,65
34) FIN...	8,80	8,05
79) SID...	4,36	4,15
89) BRA...	5,00	5,31
90) ROB...	5,78	5,34
88) PIN...	5,86	5,66
83) LON...	4,76	4,51
MOYENNES	5,5 ± 1,12	5,28 ± 0,94

Il existe une corrélation étroite entre ces 2 méthodes r = 0,98 pour n = 8. On ne peut pas dire qu'il existe une différence entre ces 2 méthodes.

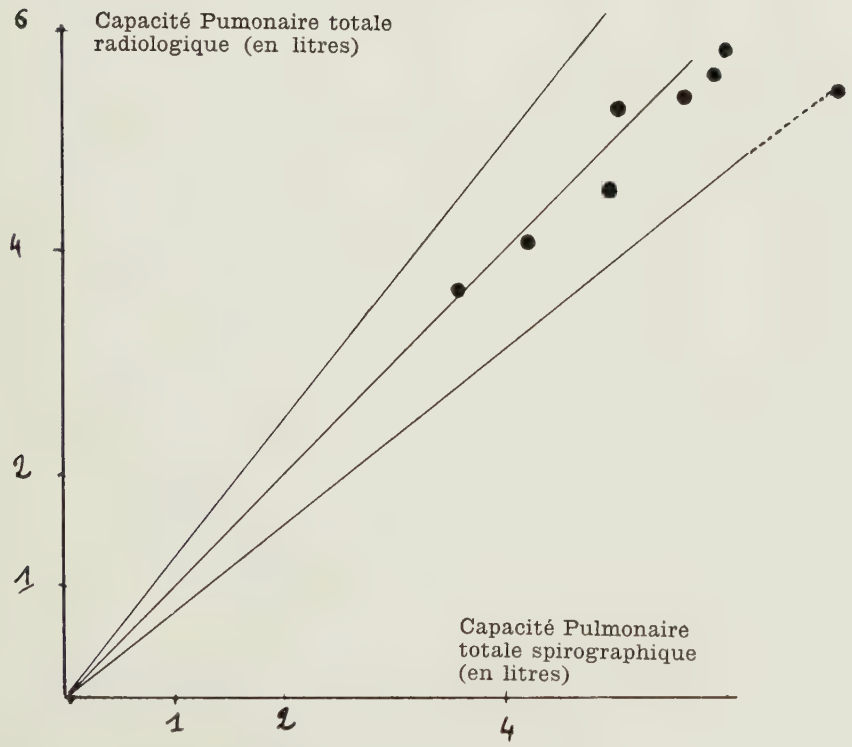
t = 1,88 pour d.d.l = 7 (méthode des couples) $\alpha < 0,05$

** Capacité pulmonaire totale en litres mesurée radiologiquement.

* Capacité pulmonaire totale en litres mesurée par la méthode de dilution à l'hélium.

Nos résultats sont très satisfaisants dans la première série avec contrôle spirographique simultané et un peu moins dans la deuxième série sans contrôle spirographique. L'explication est simple : pour calculer la capacité pulmonaire totale ; il faut que le sujet soit en inspiration forcée au moment de la prise des clichés de face et de profil. Pour obtenir un gonflement thoracique maximum c'est à priori facile : il suffit de le demander à un sujet coopérant et cela ne nécessite pas un tracé spirographique simultané. En fait il est souvent difficile d'obtenir un gonflement maximum sans contrôle spirographique simultané qui permet de suivre la courbe ascendante et de repérer le plateau correspondant à l'inspiration maximum : c'est au plateau que l'on doit prendre le cliché.

II - **Chez 8 sujets pathologiques non emphysémateux** les résultats de la capacité pulmonaire totale calculée par la méthode radiographique et par spirographie et dilution d'hélium sont très concordants (tableau n° VIII et fig. n° 14).



Sujets pathologiques non emphysémateux
avec contrôle spirographique

FIGURE N° 14

III - **Par contre chez les 22 emphysémateux** les résultats diffèrent :

de façon quasi-constante la capacité pulmonaire totale mesurée par la radiographie est supérieure à celle obtenue par la méthode de dilution d'hélium. (Tableau n° IX.)

Cette différence avait déjà été constatée par TIERNEY et NADEL. Ces auteurs avaient comparé la capacité pulmonaire totale mesurée par plesthymographie à celle obtenue par dilution d'hélium arrêtée à la 7e minute. La méthode plesthymographique donnait constamment des résultats supérieurs à la méthode spirographique. Ils avaient conclu qu'il existait dans le poumon emphysémateux des zones où le renouvellement du gaz alvéolaire était très lent. Dans ces secteurs lents la dilution de l'hélium arrêtée trop rapidement est incomplète et fournit donc un chiffre inférieur au chiffre réel.

Pour confirmer cette hypothèse de secteurs lents : nous avons mesuré la capacité pulmonaire par la méthode de dilution d'hélium à TROIS NIVEAUX DIFFÉRENTS de la courbe :

à la 5e minute

à la 7e minute

et finalement au plateau (Tableau n° IX et fig. n° 15.)

SUJETS PATHOLOGIQUES EMPHYSÉMATEUX EN INSPIRATION FORCÉE AVEC CONTROLE SPIROGRAPHIQUE

TABLEAU N° IX

	C.P. T spirographique mesurée à la 5e' (l)	C.P. T spirographique mesurée à la 7e' (l)	C.P. T spirographique mesurée au plateau (l)	P. C. T radiologique (l)
22) BOU...	8,30	8,73	9,91 (à la 19e)	9,33
24) MON...	6,42	6,62	6,71 (10e')	7,23
25) THI...	7,52	7,89	8,35 (15e')	8,70
26) SAC...	7,50	7,78	7,90 (17e')	7,35
27) GIO...	7,33	7,33	7,35 (8e')	8,10
28) FEC...	6,76	6,80	7,29 (13e')	7,95
30) HOU...	5,69	6,13	6,36 (10e')	6,75
31) PAT...	6,75	7,06	7,28 (11e')	7,64
32) LIE...	7,53	8,09	8,46 (13e')	10,19
33) GAT...	8,23	8,47	8,70 (12e')	10,05
77) BEN...	9,02	9,23	9,48 (9e')	9,18
78) SOL...	6,78	7,00	7,24 (9e')	7,28
80) COM...	7,18	7,64	8,26 (16e')	9,05
81) CEM...	6,31	6,55	6,80 (9e')	6,50
82) LEW...	6,90	7,45	8,05 (11e')	8,72
84) BUS...	8,89	9,13	9,26 (9e')	8,56
85) HAS...	6,92	7,03	7,03 (7e')	6,85
86) PIA...	4,42	4,71	5,43 (11e')	5,66
87) RID...	5,10	5,42	6,33 (18e')	5,97
93) GAR...	7,23	7,48	8,010 (11e')	7,88
91) FUR...	4,32	4,70	5,10 (13e')	4,59
92) LAI...	3,84	4,08	4,48 (13e')	5,67
MOYENNES	6,77 ± 0,60	7,06 ± 0,56	7,44 ± 0,60	7,69 ± 0,62

Il y a une étroite corrélation entre les résultats obtenus par la méthode radiologique et la méthode spirographique.

Il existe une différence significative entre les résultats trouvés par la méthode spirographique à la 5e minute et ceux trouvés par la méthode radiologique ($t = 5,68$ pour $d.d.l = 21$ $\alpha < 0,001$, $r = 0,85$ méthode des couples).

Il existe également une différence significative entre les résultats trouvés par la méthode spirographique à la 7e minute et ceux trouvés par la méthode radiologique ($t = 4,27$ pour $d.d.l = 21$ $\alpha < 0,001$; $r = 0,95$ méthode des couples).

On ne peut pas dire qu'il existe une différence entre les résultats obtenus par la méthode spirographique utilisant le temps nécessaire pour obtenir un plateau (entre 7 et 19') et ceux obtenus par la méthode radiologique ($t = 1,72$ $d.d.l = 21$ $\alpha < 0,05$ méthode des couples).

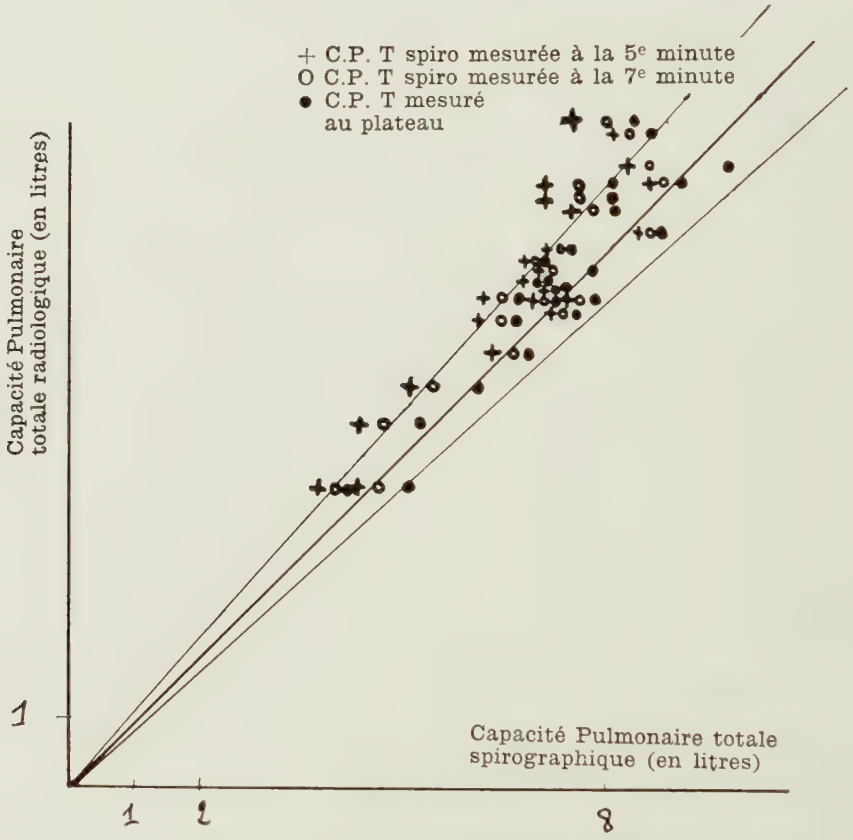


FIGURE N° 15

Sujets pathologiques emphysémateux en inspiration forcée avec contrôle spirographique.

Nous avons remarqué qu'au plateau les deux chiffres obtenus de la capacité pulmonaire totale mesurée par la méthode radiologique et par spirographie et dilution d'hélium étaient très voisins alors qu'ils sont éloignes à la 5e minute et à la 7e (tableau nº IX).

La méthode de dilution d'hélium sous-estime la capacité pulmonaire totale de façon constante si la courbe de dilution est arrêtée avant le plateau chez le sujet emphysémateux.

La méthode radiologique de mesure de la capacité pulmonaire totale donne des résultats plus proches des valeurs réelles que la méthode de dilution d'hélium. Cependant cette méthode radiologique de mesure des volumes pulmonaires présente deux difficultés principales :

— Lors de la prise du cliché au niveau respiratoire extrême;

— lors du calcul des différentes dimensions thoraciques.

Ces difficultés sont accrues chez l'insuffisant respiratoire.

1º **Lors de la prise des clichés** : l'emphysémateux ne maintient pas l'inspiration forcée et souvent le cliché est impressionné sur la partie descendante de la courbe spirographique si elle est enregistrée simultanément à un niveau souvent difficile à repérer. D'autre part entre la face et le profil l'inspiration forcée n'est pas identique : l'emphysémateux se fatigue très vite et lors de la 2e inspiration forcée pour le cliché de profil le niveau respiratoire maximum n'est pas atteint. L'idéal serait de prendre simultanément les clichés face et profil avec deux tubes à angle droit couplés.

2º **Lors du calcul** : la hauteur HF est souvent difficile à évaluer avec exactitude. Cette hauteur HF mesure la distance entre le sommet des poumons et l'horizontale tracée tangentiellement à la plus haute hémi-coupole diaphragmatique sur le cliché de face : la limite supérieure est facile à repérer grâce à une pénétration suffisante; la limite inférieure de HF est difficile à dessiner sur des hémicoupoles angulaires, en ligne brisée, on remontant anormalement haut dans le champ pulmonaire. Cette hauteur HF doit être reportée sur le profil à partir de l'hémi-coupole diaphragmatique la plus haute : son sommet est souvent mal dessinée chez le sujet emphysémateux. (Figure nº 16 et 17.)

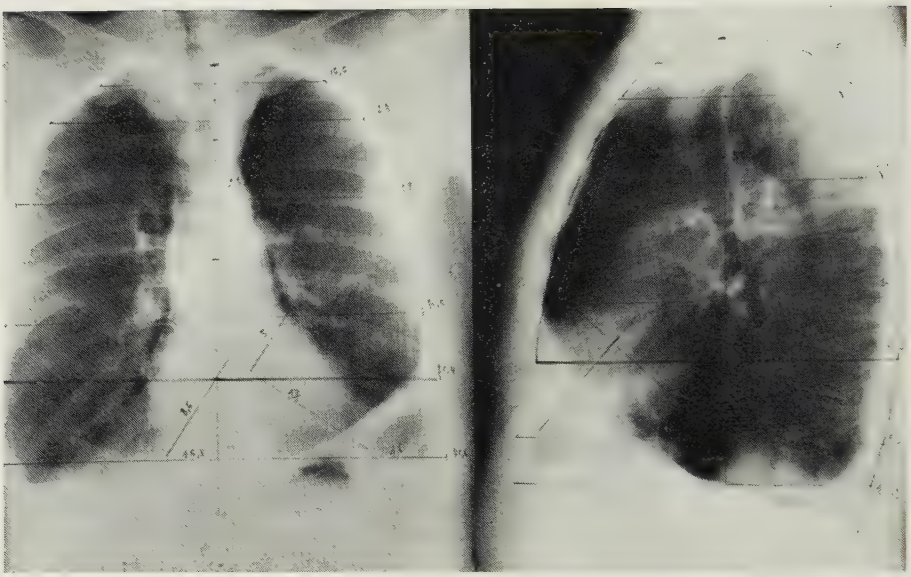


FIGURE 16

N° 77 BEN...

Sur le cliché de face en inspiration forcée, le sommet de l'hémi-coupôle diaphragmatique la plus haute est difficile à repérer.

Nous avons choisi l'hémi-coupôle gauche qui est limitée par une opacité linéaire dense oblique de dehors en dedans.

Sur le cliché de profil nous reportons la hauteur H.F. de 23 cm à partir de l'horizontale tracée au sommet des hémi-coupôles.

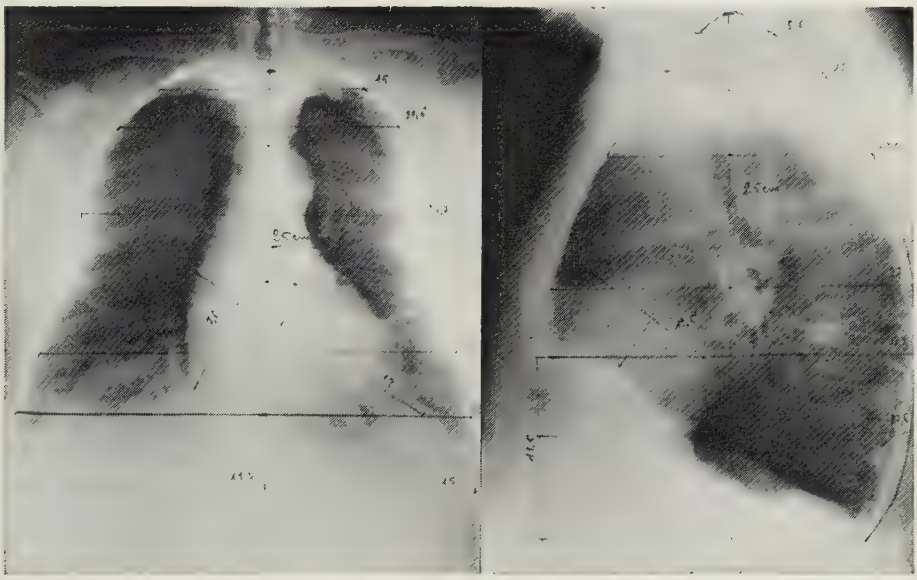


FIGURE 17

N° 78 SOL...

Sur le cliché de face en inspiration forcée, le sommet de l'hémi-coupôle diaphragmatique la plus haute est difficile à repérer.

Les deux hémi-coupôles sont mal limitées par une opacité dégradée. Nous avons tracé l'horizontale passant par la zone de transition.

Sur le cliché de profil nous avons reporté la hauteur HF de 25 cm à partir de l'horizontale tracée au sommet des hémi-coupôles.

CONCLUSION

COMME BARNHARD, BEDELL, EVEN ET SES COLLABORATEURS NOUS AVONS FAIT LES CONSTATATIONS SUIVANTES :

CHEZ LES SUJETS NORMAUX LA CORRÉLATION ENTRE LA CAPACITÉ PULMONAIRE TOTALE RADIOLOGIQUE ET SPIROMÉTRIQUE EST SATISFAISANTE.

PAR CONTRE LA CONFRONTATION DES RÉSULTATS OBTENUS PAR LES 2 MÉTHODES DANS LE CAS DE MESURES EFFECTUÉES CHEZ L'EMPHYSÉMATEUX EST BEAUCOUP MOINS SATISFAISANTE LORSQUE LA COURBE DE DILUTION D'HÉLIUM EST ARRÊTÉE AVANT LE PLATEAU. (TABLEAU N° XI.)

CES CONSTATATIONS SUGGÈRENT QUE LA CAPACITÉ PULMONAIRE EST NOTABLEMENT SOUS-ESTIMÉE CHEZ L'EMPHYSÉMATEUX PAR SPIROMÉTRIE ET DILUTION D'HÉLIUM OU PLUS PRÉCISÉMENT PAR LA MESURE DU VOLUME RÉSIDUEL UTILISANT UN GAZ TRACEUR DIFFUSANT. CE DERNIER, L'HÉLIUM, DIFFUSE LENTEMENT DANS CERTAINS SECTEURS PARENCHYMATEUX. IL FAUT ENREGISTRER LA COURBE DE DILUTION D'HÉLIUM ET POURSUIVRE CELLE-CI JUSQU'A L'APPARITION D'UN PLATEAU A PEU PRÈS HORIZONTAL ET NE PAS STOPPER LA COURBE A LA 5e OU A LA 7e MINUTE. (TABLEAU N° IX.)

DANS CES CONDITIONS LES 2 MÉTHODES DEVIENNENT CONCORDANTES.

CEPENDANT IL RESTE DES CAS OU DES CAVITÉS AÉRIENNES SONT MANIFESTEMENT EXCLUES (FORMATIONS BULLEUSES EN PARTICULIER) ET NE SONT MESURABLES QUE PAR LA MÉTHODE RADIOGRAPHIQUE.

CHAPITRE III

Intérêt de la méthode radiologique de mesure des volumes pulmonaires.

Comparaison avec des méthodes de mesures radiologiques plus rapides.

a) Dans les paragraphes I et II nous avons confirmé la validité de la méthode de Barnhard de mesure radiologique des volumes pulmonaires. Il nous faut discuter l'intérêt de cette méthode. Est-elle destinée à rester seulement une méthode intéressante sur le plan théorique ou y a-t-il au contraire intérêt à la développer et à en recommander la généralisation?

1° Il faut tout de même remarquer qu'elle n'apporte en pratique qu'un seul renseignement : la valeur de la capacité pulmonaire totale. On pourrait imaginer de déterminer les différents volumes constituant cette capacité pulmonaire totale (fig. n° 4) par la prise successive de clichés :

1) **en inspiration forcée :** le volume de gaz contenu dans les poumons est la capacité pulmonaire totale.

2) **en expiration forcée :** le volume de gaz contenu dans les poumons est le volume résiduel.

3) **la différence** entre ces deux volumes est la capacité vitale.

Néanmoins il semblerait surprenant d'envisager une telle méthode de détermination de la capacité vitale : la spirographie simple mesure avec précision ce volume et demande un matériel peu coûteux. Il faut souligner que lorsqu'on ne dispose pas de l'appareillage pour la mesure du volume résiduel par la méthode de dilution d'hélium, la détermination : a) de la capacité pulmonaire totale par les radiographies thoraciques face-profil en inspiration forcée; b) de la capacité vitale par un spiromètre simple, permet d'obtenir aisément les différents volumes pulmonaires.

2° Son intérêt principal est qu'elle constitue une méthode de référence. En cas de résultats pradoxaux fournis par spirographie et dilution d'hélium, il est utile de savoir que l'on dispose d'une méthode simple radiographique de mesure des volumes pulmonaires.

3° Parfois la méthode radiographique est la seule à laquelle on peut recourir : c'est le cas du sujet trachéotomisé où la spirographie est impossible; il faut reconnaître que cette éventualité est tout de même rare. Chez les sujets non coopérants ou tolérant mal l'embout buccal on peut plus facilement effectuer des clichés thoraciques face et profil qu'une spirographie.

4° Il est parfois important de connaître les volumes pulmonaires dans le passé de certains sujets pour apprécier l'évolution de leur maladie. On serait tenté d'utiliser d'anciens clichés thoraciques pour effectuer de tels calculs. Mais le problème qui se pose est de savoir dans quelles conditions ont été pris les clichés, une telle mesure n'est valable que si la prise des clichés a été effectuée à **1,80 m** de distance focale et en véritable inspiration forcée.

Ces deux conditions devraient être généralisées : la distance focale de 1,80 m devrait être indiquée sur le film : les médecins, les techniciens radiologistes devraient être avertis de l'importance de la prise des clichés pulmonaires en inspiration forcée et le demander avec une patience efficace.

5° Il serait intéressant de faire la part respective de la variation de volume des 5 cylindres elliptiques I à V déterminés par la méthode de Barnhard dans la diminution de volume intra-thoracique entre l'inspiration et l'expiration forcées, c'est-à-dire la capacité vitale de sujets normaux et pathologiques. L'analyse de ces résultats donnerait vraisemblablement des indications intéressantes.

Ainsi dans le cas particulier d'un sujet atteint de spondylarthrite ankylosante (N° 83 LON . . .) où les côtes restent immobiles entre l'inspiration et l'expiration forcées les diamètres antéro-postérieurs et transversaux sont identiques. La capacité vitale dépend uniquement de l'ascension du diaphragme : la hauteur HF

passe de 21 cm à 14 cm, c'est-à-dire de la variation des segments III et VI. (Fig. N° 19).

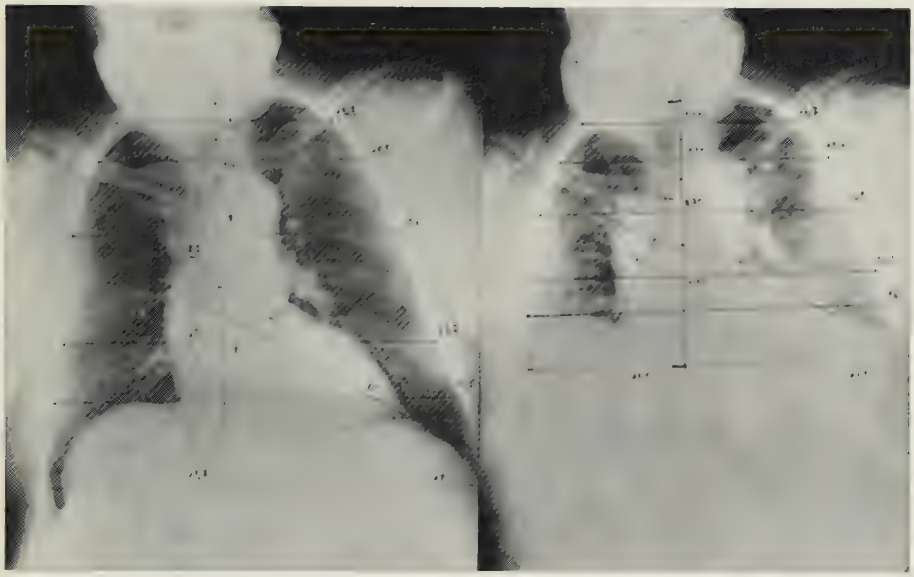


FIGURE 19

N° 83 LON...

Sujet atteint de spondylarthrite ankylosante :

nous constatons que les diamètres transversaux sont presque les mêmes en inspiration et en expiration forcée Seule la hauteur HF passe de 21 cm à 14 cm : la capacité vitale dépend uniquement de la mobilité du diaphragme.

6° Dans le cas où l'on voudrait faire une enquête statistique sur un échantillon de population, un tel protocole serait aisé à mettre sur pied : il suffirait de prendre tous les clichés thoraciques de dépistage lors des visites de Médecine du Travail à 1,80 m en inspiration forcée, complétés par un profil. La solution serait peut-être d'imaginer une méthode de calcul un peu plus rapide. En effet même à un opérateur entraîné il faut entre 15 et 20 minutes pour calculer la capacité pulmonaire d'un sujet sur les 2 clichés face et profil par la méthode de Barnhard.

b) Ainsi nous avons comparé le volume thoracique total (V.T.T.) mesuré par la méthode de Barnhard par addition des volumes de segments cylindriques elliptiques à des méthodes plus simples utilisant 3 puis 2 dimensions.

V.T.T. $0.632 \times L \times H \times P$

V.T.T. $0.425 \times L^2 \times H$

L = largeur maximum de face

H = hauteur maximum de face

P = profondeur maximum de profil

Nous constatons que les résultats sont assez différents, aussi bien chez les sujets normaux que chez les sujets pathologiques.

Nous pensons que l'on peut utiliser ces formules très simples en première approximation mais pas pour faire une étude précise des volumes pulmonaires.

CONCLUSIONS

NOUS AVONS APPLIQUÉ LA MÉTHODE DE BARNHARD MODIFIÉE PAR LOYD AU CALCUL DE LA CAPACITÉ PULMONAIRE TOTALE A PARTIR DE DEUX CLICHÉS THORACIQUES, FACE ET PROFIL. GRACE A LA COLLABORATION DE DEUX SERVICES DU C.H.U.-COCHIN, LE SERVICE CENTRAL D'ÉLECTRO-RADIOLOGIE (PROFESSEUR LEDOUX-LEBARD) ET LE LABORATOIRE CENTRAL D'EXPLORATIONS FONCTIONNELLES (PROFESSEUR MALMEJAC), IL NOUS A ÉTÉ POSSIBLE, CHEZ DES SUJETS NORMAUX ET PATHOLOGIQUES :

— D'EFFECTUER DES RADIOGRAPHIES THORACIQUES, LE SUJET ÉTANT EN MÊME TEMPS BRANCHÉ SUR CIRCUIT SPIROGRAPHIQUE : NOUS PERMETTANT AINSI DE CONNAITRE AVEC PRÉCISION LE NIVEAU RESPIRATOIRE EXACT DU SUJET, AU MOMENT DE LA PRISE DU CLICHÉ;

— DE MESURER LES VOLUMES PULMONAIRES SUCCESSIFS, SUR LES RADIOGRAPHIES ET PAR LA MÉTHODE DE DILUTION D'HÉLIUM;

— DE COMPARER LES RÉSULTATS.

DANS LA MESURE OU UNE TELLE MÉTHODE SERAIT UTILISÉE, IL EST SOUHAITABLE QUE :

— LES RADIOGRAPHIES SOIENT PRISES A 1,80 M DE FACE ET DE PROFIL ET QUE LA DISTANCE FOCALE SOIT INDIQUÉE SUR LES CLICHÉS.

— LE SUJET SOIT VÉRITABLEMENT EN INSPIRATION FORCÉE, CE QUI DEMANDE DES TECHNICIENS FORMÉS A CETTE MÉTHODE.

1° DANS LA PREMIERE PARTIE DE CE TRAVAIL NOUS AVONS COMPARÉ UN VOLUME EXPIRÉ, MESURÉ DIRECTEMENT PAR SPIROGRAPHIE AU MÊME VOLUME OBTENU PAR DIFFÉRENCE DES VOLUMES PULMONAIRES CALCULÉS SUR LES RADIOGRAPHIES PRISES AUX DEUX NIVEAUX RESPIRATOIRES CORRESPONDANTS, AU MÊME MOMENT DE L'ENREGISTREMENT SPIROGRAPHIQUE.

— LES DEUX METHODES SONT ETROITEMENT LIEES ET NE DONNENT PAS DE VALEUR SIGNIFICATIVEMENT DIFFÉRENTES. ON PEUT EN CONCLURE QUE LES COEFFICIENTS ÉTABLIS PAR BARNHARD SONT VALABLES ET QUE LA MÉTHODE RADIOLOGIQUE DE MESURE DONNE DES RÉSULTATS SATISFAISANTS DU VOLUME D'AIR CONTENU DANS LES POUMONS.

2° DANS LA DEUXIEME PARTIE DE NOTRE ETUDE, NOUS AVONS COMPARÉ, CHEZ DES SUJETS NORMAUX ET PATHOLOGIQUES LA CAPACITÉ PULMONAIRE TOTALE, MESURÉE RADIOLOGIQUEMENT ET CELLE DÉTERMINÉE PAR SPIROGRAPHIE ET DILUTION D'HÉLIUM.

— CHEZ LES SUJETS NORMAUX ET CHEZ LES SUJETS PATHOLOGIQUES, NON EMPHYSÉMATEUX, LES RÉSULTATS SONT TRÈS CONCORDANTS.

— CHEZ LES EMPHYSEMATEUX, LA METHODE RADIOLOGIQUE DONNE DES CHIFFRES PLUS ÉLEVÉS QUE LA MÉTHODE STANDARD SPIROGRAPHIQUE ET DE DILUTION D'HÉLIUM. SI L'ON PROLONGE L'ENREGISTREMENT DE LA COURBE DE DILUTION D'HÉLIUM JUSQU'A L'OBTENTION D'UN PLATEAU A PEU PRÈS HORIZONTAL, LES DEUX MÉTHODES DEVIENNENT CONCORDANTES. CELA S'EXPLIQUE PARCE QU'IL EXISTE DANS LE POUMON EMPHYSÉMATEUX DES SECTEURS DE RENOUVELLEMENT LENT. LA MÉTHODE RADIOLOGIQUE DONNE VRAISEMBLABLEMENT DES RÉSULTATS PLUS PROCHES DES VALEURS RÉELLES QUE LA MÉTHODE SPIROGRAPHIQUE ET DE DILUTION D'HÉLIUM. CHEZ LES SUJETS EMPHYSÉMATEUX, NOUS AVONS ÉVOQUÉ LES DIFFICULTÉS DE LA MÉTHODE RADIOLOGIQUE LORS DE LA PRISE DES CLICHÉS A UN NIVEAU RESPIRATOIRE EXTRÊME ET LORS DU CALCUL DES DIFFÉRENTES DIMENSIONS THORACIQUES.

3° DANS LA TROISIÈME PARTIE, NOUS AVONS ÉTUDIÉ LA PLACE DE LA MÉTHODE RADIOGRAPHIQUE DE DÉTERMINATION DES VOLUMES PULMONAIRES DANS L'EXPLORATION FONCTIONNELLE RESPIRATOIRE. CETTE MÉTHODE NE PRÉTEND PAS, ÉVIDEMMENT, A ÊTRE SUBSTITUÉE A LA MÉTHODE CONVENTIONNELLE DE SPIROGRAPHIE ET DE DILUTION D'HÉLIUM. NÉANMOINS, ELLE EST PRÉCIEUSE PAR SA SIMPLICITÉ ET CONSTITUE UN ÉLÉMENT DE CONTROLE INTÉRESSANT.

ELLE PREND TOUTE SA VALEUR DANS LES RARES CAS, OU LA SPIROGRAPHIE EST IMPOSSIBLE : SUJETS TRACHÉOTOMISÉS OU NE SUPPORTANT PAS L'EMBOUT DU SPIROGRAPHE.

ELLE PERMET DE CALCULER, A POSTERIORI, LA CAPACITÉ PULMONAIRE D'UN SUJET D'APRÈS D'ANCIENS CLICHÉS THORACIQUES.

BIBLIOGRAPHIE

AMERICAN THORACIC SOCIETY - Chronic bronchitis, asthma, and pulmonary emphysema. A statement by the committee on diagnostic standards for non tuberculous respiratory diseases. **Amer. Rev. Resp. Dis.,** 1962, **85,** p. 762.

BALDWIN E. F., COURNAND A. et RICHARDS D. W. - Pulmonary insufficiency. III. A study of 122 cases of chronic pulmonary emphysema. **Medicine (Baltimore),** 1949, **28,** p. 201.

BARNHARD H. J., PIERCE J. A., JOYCE J. W. et BATES J. H. - Roentgenographic determination of total lung capacity. **Amer. J. Med.,** 1960, **28,** p. 51.

BEDELL G. N., MARSHALL R., DUBOISA. B. et COMROE J. H. - Jr Plethysmographic determination of the volume of gas trapped in the lungs. **J. clin. Invest.,** 35, 664, 1956.

COBB S., BLODGETT D. J., OLSON K. B. et STRANAHAN A. - Determination of total lung capacity in disease from routine chest roentgenograms. **Amer. J. Med.,** 16, 39, 1954.

DARLING R. C., COURNAND A. et RICHARD D. W. - Studies in the intrapulmonary mixture of gases. III. An open circuit method for measuring residual air. **J. Clin. Invest.,** 1940, **19,** p. 609.

DUBOIS A. B., BOTELHO S. Y. et COMROE J. H., JR - A rapid plethysmographic method for measuring thoracic gas volume. A comparaison with a nitrogen washout method for measuring functional residual capacity in normal subjects. **J. Clin. Invest., 35,** 322, 1956.

EBERT R. V., BORDEN C. W., WELLS H. S. et WILSON R. H. - Studies of the pulmonary circulation. I. The circulation time from the pulmonary artery to the femoral artery and the quantity of blood in the lungs in normal individuals. **J. Clin. Invest.,** 28, 1134, 1949.

EMMANUEL G., BRISCOE W. A. et COURNAND A. - A method for the determination of the volume of air in the lungs : measurements in chronic-pulmonary emphysema. **J. Clin. Invest.,** 1961, **40,** p. 329.

P. EVEN, P. DUROUX, J. FERRANE, J. BIGNON et A. LECONTE - Évaluation radiologique fonctionnelle et anatomique de la capacité pulmonaire totale, chez les sujets normaux et au cours des broncho-pneumopathies chroniques. **Rev. Tuberculose et Pneumo.,** 1968, T. 32, nº 2, p. 269-280.

J. GUILLERMAND et J. BOUTEILLER - Mesure et intérêt du volume radiologique thoracique. **Poumon et Cœur,** 1965, T. XXI, nº 8.

HURTADO A. et FRAY W. W. - Studies of total pulmonary capacity and its subdivisions. II. Correlation with physical and radiological measurements. **J. Clin. Invest.,** 12, 807, 1933.

KALTREIDER N. L., FRAY W. W. et HYDE H. V. Z. - The effect of age on the total pulmonary capacity and its subdivisions. **Am. Rev. Tuberc.,** 37, 663, 1938.

F. KHOURY, J. BIGNON et G. BROUET - Confrontations anatomo-radiologiques dans l'emphysème et les broncho-pneumopathies chroniques. **Rev. Tuberc. Pneumol.,** (Paris), 1968, **32,** 2, 245-260.

KOVACH J. C., AVEDIAN V., MORALES G. et POULOS P. - Lung compartment determination. **J. Thoracic Surg.,** 31, 452, 1956.

LOYD H. M., STRING S. T. et DU BOIS A. B. - Radiographic and plethysmographic determination of total lung capacity. **Radiology,** 1966, **86,** p. 7.

MEDICAL RESEARCH COUNCIL - Definition and classification of chronic bronchitis. **Lancet,** 1965, **1,** p. 775.

NICKLAUS T. M., WATANABE S., MITCHELL M. M. et RENZETTI A. D. - Roentgenologic, physiologic and structural estimation of the total lung capacity in normal and emphysematous subjects. **Amer. J. Med.,** 1967, **42,** p. 547.

ROSS J. C., COPHER D. E., TEAY J. D. et LORD T. J. - Functional residual capacity in patients with pulmonary emphysema. A comparative study using gas dilution and plethysmographic technic for measurement. **Ann. Intern. Med.,** 1962, **57,** p. 18.

SCHWARTZ D. - Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. (Édit. méd. Flammarion), Paris, 1960.

SWEET H. C., WYATT J. P. et KINSELLA P. W. - Correlation of lung macro-sections with pulmonary function in emphysema. **Am. J. Med., 29,** 277, 1960.

TIERNEY D. F. et NADEL J. A. - Concurrent measurements of functional residual capacity by three methods. **J. appl. Physiol.,** 1962, **17,** p. 871.

WARD O. L. et GILSON J. C. - The effect of posture on diaphragmatic movement and vital capacity in normal subjects with a note on spirometry as an aid in determining radiologic chest volumes. **Thorax, 6,** 103, 1951.

WATANABE S., MITCHELL M. et RENZETTI A. D., JR - Correlation of structure and function in chronic pulmonary emphysema. **Am. Rev. Resp. Dis.,** 92, 221, 1965.

WHITFIELD A. G. W., SMITH O. E., RICHARDS D. B. G., WATERHOUSE J. A. H. et ARNOTT W. M. - The correlation between the radiological appearances and the clinical and spirometric state in emphysema. **Quart. J. Med., 79,** 247, 1951.

WYATT J. P., FISCHER V. W. et SWEET H. G. - Panlobular emphysema : anatomy and pathodynamics. **Dis. Chest.,** 41, 249, 1962.

Vu le président de Thèse

M. le Professeur
G. LEDOUX-LEBARD

Vu le Doyen Honoraire
Administrateur Provisoire
de la Faculté de Médecine
M. le Professeur G. BROUET

Vu et Permis d'Imprimer
Le Recteur de l'Académie de Paris
R. MALLET

Sèvres-Imprimerie
89, rue de Sèvres, PARIS-VI^e^

3^e^ trimestre 1970